

Identifikasi Sumber Logam dalam SPM (*Suspended Particulate Matter*) di Kecamatan Bangsri Kabupaten Jepara dengan Aplikasi PMF (*Positive Matrix Factorization*)

Luthfan Abi H*), Budi Prasetyo Samadikun**), Haryono S Huboyo**)

Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Email* : hirziabi@gmail.com

Abstrak

Kecamatan Bangsri, Kabupaten Jepara mempunyai aktivitas masyarakat yang tinggi, karena merupakan pusat kecamatan, pasar bangsri yang menjadi pusat perbelanjaan di 3 Kecamatan, dan salah satu kecamatan yang dekat dengan PLTU, sekitar 7 Km. Banyak penelitian menunjukkan bahwa SPM (*Suspended Particulate Matter*) memiliki dampak terbesar pada kesehatan karena mereka dapat masuk ke saluran pernapasan. Oleh karena itu dilakukanlah pengukuran PM_{10} agar diketahui konsentrasinya sehingga akan dikaji kontribusi logam PM_{10} . HVAS dan ICP MS digunakan untuk menganalisa konsentrasi massa dan logam. Kemudian didapatkan rata-rata konsentrasi massa PM_{10} sebesar $181,75 \mu g/Nm^3$. Analisis Korelasi dan aplikasi PMF atau *Positive matrix factorization* digunakan untuk menentukan pembagian sumber dari ambien PM_{10} di titik pemantauan pada bulan Mei-Juni 2018. Konsentrasi logam digunakan untuk input aplikasi. Data meteorologi digunakan untuk variabel pendukung untuk membantu hasil faktor yang didapat. Didapatkan Tiga faktor teridentifikasi sebagai hasil terbaik. Faktor-faktor tersebut yaitu kendaraan, debu tanah dan jalan, dan *fly ash* PLTU. Hasil mengindikasikan bahwa PM_{10} signifikan oleh Kendaraan dengan kontribusi (50,5%), debu tanah dan jalan (25,7%), dan *fly ash* PLTU (23,8%).

Kata kunci: SPM, PM_{10} , PMF

Abstract

[Identification of Metals Sources in SPM (Suspended Particulate Matter) at Bangsri Distric Jepara Regency with Application PMF (Positive Matrix Factorization)]. Bangsri district, Jepara Regency has a high activity of people, because it is center of district, the market which is a shopping center in 3 districts, and one of district which close to the PLTU, is 7 Km. Many studies have shown that SPM (*Suspended Particulate Matter*) has the greatest impact on health because they can enter the respiratory tract. Therefore PM_{10} measurements are carried out so that the concentration is known, so that the contribution of PM_{10} metals will be assessed. HVAS and ICP MS are used to analyze mass and metal concentrations. Then the average mass concentration of PM_{10} was obtained with a value $181.75 \mu g / Nm^3$. Correlation Analysis and application of PMF or *Positive matrix factorization* were used to determine the source distribution of ambient PM_{10} at the monitoring point in May-June 2018. The metal concentration was used for application input. Meteorological data are used for supporting variables to help with the results of the factors obtained. Obtained Three factors identified as the best results. These factors are vehicles, soil dust and roads, and PLTU fly ash. The results indicate that PM_{10} is significant by vehicles with contributions (50.5%), soil dust and roads (25.7%), and PLTU fly ash (23.8%).

Keywords: SPM, PM_{10} , PMF

PENDAHULUAN

Kontribusi SPM (*Suspended Particulate Matter*) dalam perubahan iklim sudah lama sangat diakui (IPCC, 2007), begitupun aerosol yang bisa mempengaruhi manusia melalui inhalasi atau pernapasan. Kecamatan Bangsri

Kabupaten Jepara mempunyai aktivitas yang sangat tinggi, karena merupakan pusat kecamatan, pasar bangsri yang menjadi pusat perbelanjaan di 3 Kecamatan, dan salahsatu

kecamatan yang dekat dengan PLTU, sekitar 7 Km.

PM₁₀ adalah bagian dari SPM (*Suspended Particulate Matter*) (EPA,2004). Banyak penelitian menunjukkan bahwa fraksi aerosol memiliki dampak terbesar pada kesehatan karena mereka dapat masuk ke saluran pernapasan, mendorong penyakit pernafasan kronis, asma, kanker dan kematian dini (Iii *et al.* 2015). Efek kesehatan manusia diduga terkait dengan komponen spesifik partikulat meter, ini menunjukkan pentingnya karakterisasi kimia pada partikulat meter (Ghio and Devlin 2001). Jejak elemen atau *trace element* biasanya memperhitungkan proporsi minor dalam partikulat meter di atmosfer, Partikulat meter ini bisa berasal dari berbagai sumber alami atau antropogenik (EPA,2004), tidak hanya PLTU saja, sebagai contoh unsur Magnesium (Mg) biasanya terkait dengan emisi debu alami (Venter *et al.* 2017), Fe, Ca, Na, Mg, Al dan K juga bisa berasal dari debu tanah (Gugamsetty *et al.* 2012), kemudian berpotensi juga dari kendaraan, yang banyak mengandung logam Sb, Zn, dan Ba yang sangat terkait dengan mesin diesel kendaraan dan bahan bakar bensin (Lin, Chen, and Lin 2005). Perak (Ag) dan Molibdenum (Mo) biasanya berasal dari pembakaran batu bara (Tian *et al.* 2013). Unsur-unsur logam beracun seperti As, Cd, Pb dianggap sebagai karsinogen dengan potensi risiko kesehatan (Venter *et al.* 2017). Meskipun sebagian besar *trace element* hanya sekitar 1% dari total partikulat massa, mereka memainkan peran penting dalam identifikasi sumber (Lim *et al.* 2010) Oleh karena itu perlu dikaji kembali menggunakan metode reseptor PMF atau *Positive Matrix Factorization*.

Metode reseptor *Positive Matrix Factorization* (PMF) ini dapat diaplikasikan pada banyak data seperti data SPM yang diukur dalam waktu sampling yaitu 24 jam, data aerosol, perpindahan polutan pencemaran udara, toksikan berbahaya, dan *volatile organic compound* (VOC) seperti methane, benzene, formaldehyde dan chlorofluorocarbons (EPA 2015). Analisis PMF terhadap komposisi PM telah digunakan secara berbeda kota di seluruh dunia untuk mengidentifikasi dampak sumber (Vargas *et al.* 2012).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa konsentrasi ambien SPM di titik pemantauan peneliti di Kecamatan Bangsri Jepara dan mengkaji kontribusi emisi logam

pada SPM berdasarkan hasil aplikasi PMF, sehingga diketahui kontributor utama polutan.

Oleh karena itu manfaat untuk peneliti menambah ilmu pengetahuan, dan untuk masyarakat adalah memberi informasi mengenai kualitas udara dan kontribusi dari logam trace elemen di kecamatan Bangsri. Sedangkan untuk pemerintah adalah menjadi masukan untuk tindakan tindak selanjutnya terhadap hasil penelitian ini dengan pengelolaan kualitas lingkungan.

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Sampling

Sampel diambil di 1 titik pemantauan yaitu di Kecamatan bangsri (LS 06° 30' 42,11" , BT 110° 45' 53,35") yang terletak di Kabupaten Jepara dilakukan pada bulan Mei-Juni 2018 selama 2 kali pengambilan setiap bulannya. 2 bulan tersebut mengindikasikan masuk pada musim panas. Titik Pemantauan dekat dengan pusat kecamatan yaitu pasar, sehingga tingkat aktivitas masyarakat disana sangat tinggi, kemudian dekat dengan PLTU di sebelah Barat Laut titik pemantauan berjarak 7 km.

Metode Sampling dan Analisis

Sampel SPM diambil menggunakan HVAS atau *High Volume Air Sampler* berdasarkan SNI 7119.15:2016 dan SNI 7119.14:2016 yaitu Cara Uji Partikel dengan Ukuran $\leq 10 \mu\text{m}$ (PM₁₀) menggunakan peralatan *High Volume Air Sampler* (HVAS) dengan metode *gravimetric*. *Flow rate* di setting 1,1 m³/menit sampai dengan 1,7 m³/menit selama 24 jam dengan menggunakan filter *quartz*.

Sebelum analisis logam dilakukan, filter diukur dahulu beratnya berapa agar diketahui konsentrasi PM₁₀. Kemudian filter di analisa dengan ICP-MS untuk mengidentifikasi logam *trace element*. Trace element yang dianalisa yaitu As, Sb, Pb, Zn, Na, Mg, Ca, Ba, V, Cr, Mo, Mn, Fe, Ni, Cu, Ag, Al, dan Sn.

Pembagian Sumber dengan *Positive Matrix Factorization* (PMF)

Positive Matrix Factorization (PMF v.5.0) digunakan untuk mengidentifikasi kontribusi sumber emisi yang bervariasi. Reseptor PMF ini dikembangkan oleh pateero dan tapper pada tahun 1993 dan 1994 dengan menggunakan pendekatan *Least Squares* (Gugamsetty, 2012).

Data di set sebagai matrix X untuk i dengan dimensi j. nomer sampel di lambangkan dengan i dan j dengai unsur yang terukur. Tujuan permodelan reseptor multivariate dengan PMF adalah untuk mengidentifikasi sejumlah faktor (p), unsur profil (f) dari masing-masing sumber, dan jumlah massa (g) yang disumbangkan oleh masing-masing faktor untuk setiap sampel individu. Atau bisa didefinisikan dengan:

$$X_{ij} = \sum_{k=1}^p g_{ik}f_{kj} + e_{ij} \quad (1)$$

Dimana e_{ij} adalah residual untuk setiap sampel/unsur. Tujuan dari solusi PMF adalah unruk meminimalkan fungsi objek Q berdasarkan *uncertainty* (u) (EPA, 2015) seperti rumus dibawah ini:

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[\frac{X_{ij} - \sum_{k=1}^p g_{ik}f_{kj}}{u_{ij}} \right]^2 \quad (2)$$

Uncertainty seharusnya sudah ditentukan melalui standar laboratorium yang telah dibakukan ke dalam ISO/IEC 17025 mengenai laboratorium pengujian dan kalibrasi. Namun, *Uncertainty* juga dapat ditentukan dan diperhitungkan secara manual dengan mengganti nilai konsentrasi yang berada di bawah batas deteksi alat menjadi setengah nilai limit deteksi alat, dan nilai *uncertainty*-nya adalah 5/6 dari limit deteksi limit tersebut. Nilai yang hilang diganti dengan rata-rata geometric dari seluruh data yang tersedia untuk unsur tersebut, dan *uncertainty* nya sebesar 4 kali nilai rata-rata geometric tersebut (Mauliadi, 2008)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Partikulat Titik Terpantau

Didapatkan bahwa konsentrasi PM_{10} tertinggi terdapat pada pengambilan ke 4, yaitu



Titik Pemantauan
Kecamatan Bangsri

Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel

sebesar $257 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Konsentrasi tersebut telah melebihi baku mutu Udara Ambien Nasional, baku mutu PM_{10} berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999, yaitu sebesar $150 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Hasil Konsentrasi PM_{10} ini juga tidak berbeda jauh dengan penelitian yang dilakukan di Negara India pada bulan April-Juni 2010 musim kemarau/panas, dengan pengukuran di dua tempat yaitu di pedesaan, dengan rata-rata konsentrasi massa PM_{10} yaitu $278,67 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan $234,54 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (A. Singh, Kulshrestha, and Taneja 2011).

Tabel 1. Konsentrasi Aktual PM_{10}

| Lokasi | Parameter | Sampel | | | |
|-------------------|--|--------|------|------|------|
| | | I | II | III | IV |
| Kecamatan Bangsri | PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) | 136 | 132 | 202 | 257 |
| | Kelembapan (%) | 69.2 | 68.9 | 70.8 | 72.7 |

Diduga dari aktivitas penduduk sekitar daerah pemantauan, dengan jumlah penduduk yang begitu padat di setiap desanya dengan persentase penduduknya yang tertinggi yaitu sebesar 23,34-24,29% di umur 15-44 tahun dan ini berkaitan dengan timbulan sampah dari setiap rumah juga masih belum terlayani oleh pemerintah, oleh karena itu untuk mengurangi sampah, penduduk masih melakukan pembakaran sampah. kemudian bisa disebabkan oleh kelembapan yang mempengaruhi banyaknya partikel terserap, karena kelembapan yang didapat yaitu 69,2-72,7%, menurut EPA (2004) dengan naiknya kelembapan, maka jumlah uap air yang tersedia akan membuat partikel mudah terserap sehingga akan meningkatkan ukuran dan volume partikel tersebut.

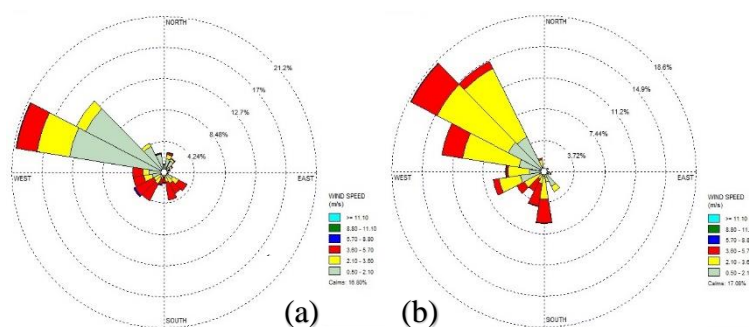
Kualitas Udara PM₁₀

Berdasarkan hasil perhitungan nilai ISPU PM₁₀ didapatkan pada titik pemantauan kecamatan Bangsri 100% berkategori tidak sehat, yang berarti tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan manusia dan hewan yang memiliki tingkat kesensitifitas yang tinggi, atau bisa menimbulkan kerusakan tumbuhan dan berpengaruh kepada nilai estetika juga.

Informasi mengenai nilai index atau hasil perhitungan ISPU kepada masyarakat lebih ditekankan terhadap konsentrasi PM₁₀ keseluruhan, tidak hanya terkait dengan logam saja, karena komposisi PM₁₀ tidak hanya logam.

Pemantauan Arah Angin Kabupaten Jepara

Hasil dari pengolahan data *wind rose plot* (WRplot) Bulan Mei-Juni 2016 dan 2017 cenderung bertiup dari arah Barat Laut ke arah



Gambar 2. Arah Angin Pemantauan; (a) Arah Angin Pemantauan Bulan Mei-Juni 2016; (b) Arah Angin Pemantauan Bulan Mei-Juni 2017

Sumber : BMKG Kota Semarang 2016 dan 2017

Tenggara dan Selatan. Sedangkan titik pemantauan peneliti terdapat pada tenggara dan selatan PLTU Tanjung Jati B Jepara. Hal ini dapat diduga bahwa beberapa partikel debu dapat berasal dari PLTU.

Komposisi Logam Penyusun PM₁₀

Hasil dari Analisis unsur logam PM₁₀ dihasilkan 17 unsur logam berat yang terdeteksi dan dinyatakan dalam konsentrasi ng/Nm³ bersama dengan data ketidakpastian (*uncertainty*) yang akan menjadi input data untuk analisis PMF. Berdasarkan hasil analisa, konsentrasi tertinggi ada pada logam Al atau aluminium, dengan konsentrasi sebesar 42.5 ± 3.25 ng/Nm³. Menurut Gugamsetty *et al.* (2012) Konsentrasi tinggi unsur aluminium atau Al bersumber dari debu tanah atau debu dari jalan, Unsur ini bersumber utama dari debu tanah dan

jalan di udara dan biasanya berkontribusi terhadap aerosol kasar Lough *et al.*, (2005). Unsur timah atau Sn juga menempati urutan kedua tertinggi setelah Aluminium, dengan konsentrasi 22.5 ± 0.225 ng/Nm³. Berdasarkan (M. Singh, Jaques, and Sioutas 2002) unsur ini bisa berasal dari diesel dan bahan bakar bensin.

Tabel 2. Konsentrasi Logam Sampel PM₁₀

| Parameter | Simbol | Bangsri (ng/Nm ³) |
|------------|--------|----------------------------------|
| | | PM ₁₀ |
| Arsen | As | 0.63 ± 0.032 |
| Antimoni | Sb | 0.147 ± 0.02 |
| Timbal | Pb | 1 ± 0.02 |
| Seng | Zn | 4.25 ± 0.3 |
| Natrium | Na | 3.5 ± 0.08 |
| Magnesium | Mg | 0.35 ± 0.045 |
| Kalsium | Ca | 1.225 ± 0.027 |
| Barium | Ba | 1.5 ± 0.02 |
| Vanadium | V | 0.197 ± 0.049 |
| Crom | Cr | 0.61 ± 0.182 |
| Molibdenum | Mo | 0.044 ± 0.063 |
| Besi | Fe | 0.9 ± 0.057 |
| Nikel | Ni | 0.525 ± 0.037 |
| Tembaga | Cu | 2 ± 0.0125 |
| Perak | Ag | 0.9 ± 0.02 |
| Aluminium | Al | 42.5 ± 3.25 |
| Timah | Sn | 22.5 ± 0.225 |

Korelasi Antar Unsur Setiap Sampel PM₁₀

Hubungan antara unsur logam tersebut akan dibaca oleh reseptor model ini sehingga akan diketahui seberapa kuat hubungan antara unsur dengan melihat koefisien korelasinya, nilai sedang (0,5-0,69) dengan nilai kuat (0,7-0,79) dan nilai atau hubungan yang sangat kuat (>0,8) (Sayyida,2015)

Berdasarkan US EPA 2004, dapat ditentukan skenario penentuan sumber-sumber yang memiliki potensi memberikan kontribusi unsur dari PM₁₀. Korelasi PM₁₀ unsur Natrium (Na) dan Kalsium (Ca) memiliki koefisien korelasi yang sangat kuat (>0,8) yaitu 0,8 begitu juga dengan unsur Vanadium (V) berkorelasi kuat (0,7-0,79) dengan Natrium (Na) dengan nilai 0,76 hal tersebut bisa menandakan bahwa 3 unsur tersebut berasal dari debu tanah atau jalan begitupun unsur Magnesium (Mg) dan Besi (Fe) , memiliki korelasi yang kuat yaitu 0,78, ini

menandakan juga bahwa menurut Gugamsetty (2012) Mg dan Fe berasal dari debu tanah dan jalan. Kemudian unsur Seng (Zn) dan Tembaga (Cu) berkorelasi sangat kuat dengan nilai 0,95 begitupun dengan unsur Antimoni (Sb) yang berkorelasi sedang dengan Seng (Zn) dan Tembaga (Cu) dan ini menandakan bahwa ketiga unsur ini berasal dari emisi kendaraan (Sina Taghvae, 2018). Untuk unsur terakhir yang berkorelasi adalah Barium (Ba) dan Molibdenum (Mo) memiliki korelasi yang kuat yaitu 0,71 , kemudian unsur Perak (Ag) juga berkorelasi sedang dengan Mo dan Ba dengan nilai 0,65 dan 0,61 unsur Molibdenum (Mo) dan Perak (Ag) menandakan berasal dari debu *fly ash* hasil pembakaran batu bara PLTU (Koistinen, 2002).

Karakterisasi Reseptor Model PMF Terhadap Titik Pemantauan

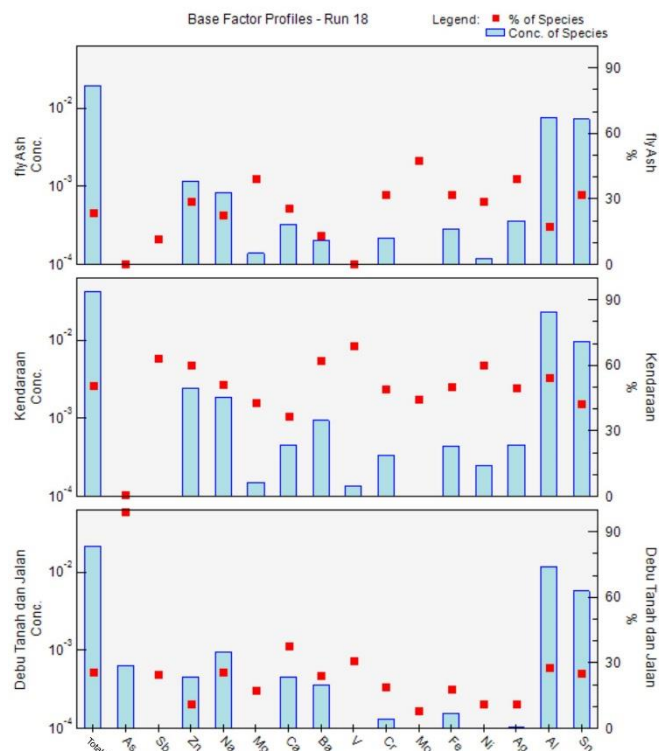
Unsur Sampel PM₁₀

Berdasarkan running PMF yang dilakukan untuk sampel PM₁₀ pada bulan Mei-Juni 2018, didapatkan masing-masing 3 jenis faktor yang berhasil dimodelkan oleh PMF. Faktor yang berhasil dimodelkan tersebut adalah debu tanah dan jalan, kendaraan dan *fly ash* PLTU.

Faktor-faktor sumber tersebut ditentukan berdasarkan adanya unsur penanda yang terdapat pada beberapa faktor sumber yang didapatkan dari beberapa literatur. Unsur mendominasi pada faktor ditentukan sebagai unsur penanda dari suatu sumber tertentu, ditunjukkan di Gambar 3.

Sumber 1: Faktor sumber pertama PM₁₀ yang dihasilkan oleh PMF adalah faktor sumber kendaraan, faktor ini memiliki penanda unsur yaitu Antimoni (Sb) dan seng (Zn). Menurut Querol (2008) Antimoni (Sb) dan seng (Zn) bisa juga berasal dari pengereman kendaraan. Kemudian Zn bisa berasal juga dari motor dalam mesin 2 tak atau 4 tak, yang masing-masing berbeda cara kerja motornya, tetapi sama-sama memancarkan Zn dari hasil kerja mesin tersebut (Begum *et al.* 2005). Analisis PMF menunjukkan kontribusi Kecamatan Bangsri sebesar 50,5%.

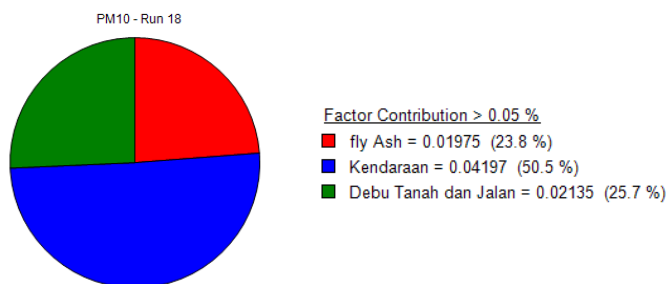
Sumber 2: Faktor sumber kedua PM₁₀ yang dihasilkan oleh PMF adalah faktor sumber debu tanah dan jalan, faktor ini memiliki penanda unsur yaitu kalsium (Ca), Natrium (Na) dan Vanadium (V). Menurut Gugamsetty (2012)



Gambar 3. Komposisi Unsur setiap Faktor

unsur Ca dan Na dan Mg berasal dari debu tanah yang tersuspensi kembali akibat adanya aktivitas kendaraan maupun makhluk hidup. Analisis PMF menunjukkan kontribusi Kecamatan Bangsri sebesar 25,6%

Sumber 3: Faktor sumber ketiga PM₁₀ yang dihasilkan oleh PMF adalah faktor sumber *fly ash* PLTU, karena arah angin yang cenderung bertiup ke Tenggara-Selatan berdasarkan data arah angin dari tahun 2016 dan 2017. Faktor ini memiliki penanda unsur yaitu Molibdenum (Mo), Barium (Ba) dan Perak (Ag) Berdasarkan Koistinen (2002) unsur tersebut terdeteksi berasal dari *fly ash* yang keluar dari cerobong. Analisis PMF kontribusi Kecamatan Bangsri sebesar 23,7%.



Gambar 4. Kontribusi Faktor Sumber

KESIMPULAN

Konsentrasi rata-rata PM₁₀ yang didapat sesuai titik pemantauan peneliti adalah 181,75 µg/Nm³. Konsentrasi PM₁₀ tertinggi terdapat pada pengambilan sampel ke-4 yaitu 257 µg/Nm³. Kualitas ISPU PM₁₀ berkategori tidak sehat 100%.

Pembagian sumber dari PM₁₀ titik pemantauan dengan menggunakan analisa korelasi dan aplikasi *Positive matrix factorization* (PMF), didapatkan 3 faktor. PM₁₀ di Kecamatan Bangsri yaitu kendaraan (50,5%), debu tanah dan jalan (25,7%), dan *fly ash* PLTU (23,8%).

SARAN

Perlu ada lebih banyak lagi dugaan sumber emisi dari berbagai referensi. Masyarakat perlu mengetahui bahwa logam PM₁₀ yang di sekitar kecamatan banyak berasal dari debu tanah, jalan dan kendaraan.

REFERENSI

- Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (BAPEDAL). 1999. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.41 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Jakarta.
- Badan Standar Nasional. 2016. SNI 7119.15.2016. Cara Uji Partikel dengan Ukuran ≤ 10 µm (PM₁₀) menggunakan peralatan *High Volume Air Sampler* (HVAS) dengan metode gravimetric.
- Begum, Bilkis A, Swapan K Biswas, Eugene Kim, Philip K Hopke, Bilkis A Begum, Swapan K Biswas, Eugene Kim, and Philip K Hopke. 2005. "Investigation of Sources of Atmospheric Aerosol at a Hot Spot Area in Dhaka , Bangladesh Investigation of Sources of Atmospheric Aerosol at a Hot Spot Area in Dhaka ,

Bangladesh," no. November 2014: 37–41.

doi:10.1080/10473289.2005.10464606.

Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC.

EPA. 2004. Air Quality Criteria for Particulate Matter, Vol. 1, 2 and 3. Research Triangle Park, Nc: National Center for Environmental Assessment-RTP Office..

EPA. 2015. "Report on the 2015 U . S . Environmental Protection Agency (EPA) International Decontamination Research and Development Conference," no. December.

Gugamsetty, Balakrishnaiah, Han Wei, Chun-nan Liu, Amit Awasthi, Shih-chieh Hsu, Chuen-jinn Tsai, Gwo-dong Roam, Yue-chuen Wu, and Chung-fang Chen. 2012. "Source Characterization and Appointment of PM₁₀ , PM_{2,5} and PM_{0,1} by Using Positive Matrix Factorization," 476–91. doi:10.4209/aaqr.2012.04.0084.

Harrison, Roy M, Alan M Jones, Johanna Gietl, Jianxin Yin, and David C Green. 2012. "Estimation of the Contributions of Brake Dust , Tire Wear , and Resuspension to Nonexhaust Traffic Particles Derived from Atmospheric Measurements."

Iii, C Arden Pope, Richard T Burnett, Michael J Thun, Eugenia E Calle, Daniel Krewski, and George D Thurston. 2015. "To Fine Particulate Air Pollution" 287 (9).

Koistinen, Kimmo. 2002. *Exposure of an Urban Adult Population to PM 2.5*. Finland: National Public Health Institute Mannerheimintie 166.

Lim, Jong-myoung, Jin-hong Lee, Jong-hwa Moon, Yong-sam Chung, and Ki-hyun Kim. 2010. "Source Apportionment of PM₁₀ at a Small Industrial Area Using Positive Matrix Factorization." *Atmospheric Research* 95 (1). Elsevier B.V.:88–100. doi:10.1016/j.atmosres.2009.08.009.

Mauliadi, Yandhinur Dwi. 2008. "Aplikasi Model Positive Matrix Factorization Dalam Studi Identifikasi Sumber Emisi Partikulat Di Kota Bandung." Institute Teknologi Bandung.

- Querol, X, A Alastuey, T Moreno, M M Viana, S Castillo, J Pey, P Salvador, et al. 2008. "Spatial and Temporal Variations in Airborne Particulate Matter" 42: 3964–79. doi:10.1016/j.atmosenv.2006.10.071.
- Sayyida. 2015. Analisis Korelasi Ekonometrika. Diakses pada tanggal 6 Oktober 2018. <https://slideplayer.info/slide/4878475/>
- Singh, Manisha, Peter A Jaques, and Constantinos Sioutas. 2002. "Size Distribution and Diurnal Characteristics of Particle-Bound Metals in Source and Receptor Sites of the Los Angeles Basin" 36: 1675–89.
- Singh, Atar, Aditi Kulshrestha, and Ajay Taneja. 2011. "Characterization and Morphological Analysis of Airborne PM 2.5 and PM 10 in Agra Located in North Central India." *Atmospheric Environment* 45 (21). Elsevier Ltd: 3621–30. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.03.062.
- Taghvaei, Sina, Mohammad H Sowlat, Amirhosein Mousavi, and Mohammad Sadegh. 2018. "Science of the Total Environment Source Apportionment of Ambient PM 2.5 in Two Locations in Central Tehran Using the Positive Matrix Factorization (PMF) Model" 629 (1547): 672–86. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.02.096.
- Vargas, Freddy A, Nestor Y Rojas, Jorge E Pachon, and Armistead G Russell. 2012. "Atmospheric Pollution Research PM 10 Characterization and Source Apportionment at Two Residential Areas in Bogota" 3 (3): 72–80. doi:10.5094/APR.2012.006.
- Venter, Andrew D, Pieter G Van Zyl, Johan P Beukes, Micky Josipovic, Johan Hendriks, Ville Vakkari, and Lauri Laakso. 2017. "Atmospheric Trace Metals Measured at a Regional Background Site (Welgegund) in South Africa," 4251–63. doi:10.5194/acp-17-4251-2017.
- WHO. 2006. *Health Risks of Particulate Matter from Long-Range Transboundary Air Pollution*. Europe.